

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОГО ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГРАФОВ

Е. Я. Иванченко, Н. В. Худобин

Харьков

Исследуемый статический преобразователь постоянного напряжения преобразует постоянное низкое напряжение в постоянное более высокое напряжение без промежуточного преобразования в переменное (отсутствует основной элемент — трансформатор). Такой преобразователь может применяться в системах автоматического управления, для питания электронных устройств (преимущественно на подвижных объектах), а также в тех случаях, когда требуются небольшие магнитные поля.

На рис. 1 изображена двухполупериодная схема статического повышающего преобразователя постоянного напряжения. Схема собрана на основе мультивибратора, в котором к коллекторным цепям транзисторов T_1 и T_2 подключены емкости, при заряде включающиеся параллельно, а при разряде — последовательно. Таким образом, на выходе напряжение удваивается. При составлении схемы из большего числа активных емкостей (C_1, C_2, C_3, C_4) напряжение на выходе увеличивается пропорционально числу емкостей.

Для упрощения анализа рассмотрим только одну из симметричных сторон преобразователя, например

правую, обведенную пунктиром. Построим для этой схемы граф. Сигналами вершин графа служат токи и напряжения на выходах схемы, а также на полюсах многополюсных элементов. Сигналом источника в схеме служит $U_{вх}$, параметры транзисторов определены с общим коллектором.

Составим уравнения для цепи заряда и для цепи разряда отдельно, так как диоды являются нелинейными элементами. Начнем с выходной величины, затем последовательно выразим все величины, которые входят в предыдущие уравнения.

Составим уравнения для цепи заряда.

$$U_{вых} = -I_n R_n; \quad I_n = I_{10} - I_9; \quad I_9 = -U_1 p C_1; \\ I_{10} = I_1 - I_3; \quad I_1 = I_6 + I_9; \quad I_3 = -U_2 p C_2;$$

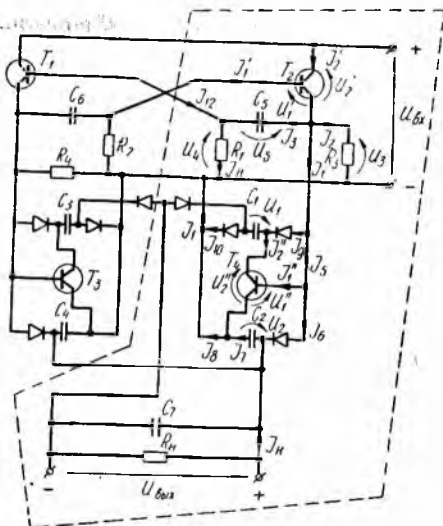


Рис. 1.

$$U_1 = U_2; U_2 = U_3; I_6 = I_8 - I_{11}; I_2 = U_3 G_3;$$

$$U_3 = U_4 + U_5; U_5 = I_3 \frac{1}{pC_5}; I_3 = I_{11};$$

$$I_{11} = U_4 G_1; I_{12} = 0; U_4 = U_{вх} - U'_2 - U_5;$$

$$U'_2 = r'_{21к} I'_1 + r'_{22к} I'_2; U'_1 = r'_{11к} I'_1 + r'_{12к} I'_2;$$

$$I'_2 = I_1 + I_2 + I_3 - I'_1; I'_1 = I_3.$$

По полученным уравнениям строим граф рис. 2.

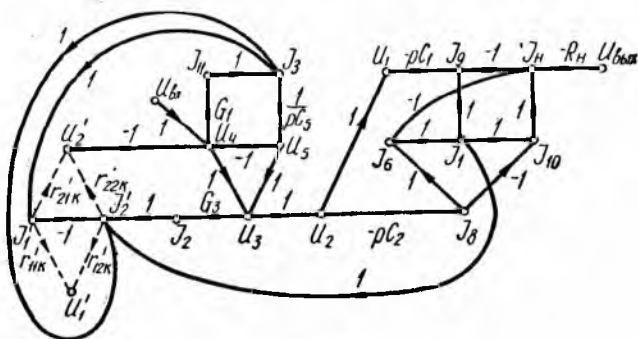


Рис. 2.

Для определения входной проводимости рассмотрим граф рис. 2 от источника $U_{вх}$ до стока I'_2 . На этом участке граф содержит 12 сквозных путей, кроме того, он имеет 15 контуров. Передатки путей $P_1 \div P_{12}$ и контуров $L_1 \div L_{15}$ выразятся следующим образом:

$$P_1 = G_3; P_2 = G_1 G_3 \frac{1}{pC_5}; P_3 = -G_1;$$

$$P_5 = -pC_2; P_8 = -G_1 pC_2 \frac{1}{pC_5}; P_7 = -pC_2;$$

$$P_6 = -G_1 pC_2 \frac{1}{pC_5}; P_9 = -pC_1; P_{10} = -G_1 pC_1 \frac{1}{pC_5};$$

$$P_{11} = -pC_1; P_{12} = -G_1 pC_1 \frac{1}{pC_5};$$

$$L_1 = G_3 r'_{22к}; L_2 = -G_1 G_3 \frac{1}{pC_5} r'_{22к}; L_3 = G_1 r'_{22к};$$

$$L_4 = -G_1 r'_{22к}; L_5 = -G_1 r'_{21к}; L_6 = -G_1 \frac{1}{pC_5};$$

$$L_7 = pC_2 r'_{22к}; L_8 = G_1 pC_2 \frac{1}{pC_5} r'_{22к};$$

$$L_9 = G_3 pC_2 r'_{22к}; L_{10} = G_1 pC_2 \frac{1}{pC_5} r'_{22к};$$

$$L_{11} = pC_1 r'_{22к}; L_{12} = G_1 pC_1 \frac{1}{pC_5} r'_{22к};$$

$$L_{13} = G_3 pC_1 r'_{22к}; L_{14} = G_1 pC_1 \frac{1}{pC_5} r'_{22к};$$

$$L_{15} = -1.$$

Передача графа определяется по формуле:

$$K_i = \frac{\sum_s P_s D_s}{D},$$

где определитель

$$\begin{aligned} D = & 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + \\ & + L_{10} + L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{15}) + L_1 L_{15} + \\ & + L_2 L_{15} + L_3 L_{15} + L_4 L_{15} + L_5 L_{15} + L_6 L_{15} = \\ = & 2 \left[1 + G_3 r'_{22к} \left(1 + G_1 \frac{1}{\rho C_5} \right) + G_1 \left(r'_{21к} + \frac{1}{\rho C_5} \right) \right] - \\ & - r'_{22к} (\rho C_2 + \rho C_1) \left(2G_1 \frac{1}{\rho C_5} - G_3 - 1 \right). \end{aligned}$$

Сквозные пути $P_1 - P_4$ не соприкасаются с контуром L_{15} , значит

$$D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = 1 - L_{15} = 2.$$

Сквозные пути $P_5 - P_{12}$ не имеют несоприкасающихся контуров, значит

$$D_5 = D_6 = D_7 = D_8 = D_9 = D_{10} = D_{11} = D_{12} = 1.$$

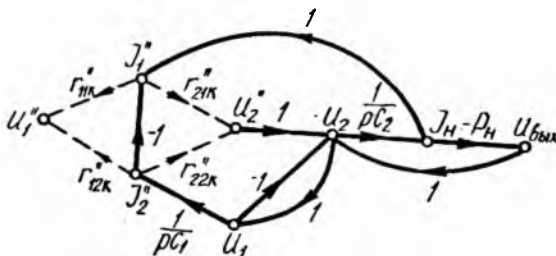


Рис. 3.

Определим входную проводимость

$$\begin{aligned} Y_{вх} = \frac{I_2}{U_{вх}} = & \frac{2(G_3 - \rho C_2 - \rho C_1)}{2 \left[1 + G_3 r'_{22к} \left(1 + G_1 \frac{1}{\rho C_5} \right) + G_1 \left(r'_{21к} + \frac{1}{\rho C_5} \right) \right] -} \times \\ & \times \frac{\left(G_1 \frac{1}{\rho C_5} + 1 \right)}{-r'_{22к} (\rho C_2 + \rho C_1) \left(2G_1 \frac{1}{\rho C_5} - G_3 - 1 \right)}. \end{aligned}$$

Составим уравнения для цепи разряда.

$$U_{вых} = -I_H R_H; \quad I_H = U_2 \frac{1}{\rho C_2}; \quad U_2 = U_2^* - U_1 + U_{вых};$$

$$U_2^* = r'_{21к} I_1 + r'_{22к} I_2; \quad U_1^* = r'_{11к} I_1 + r'_{12к} I_2;$$

$$I_2^* = U_1 \frac{1}{\rho C_1}; \quad U_1 = U_2; \quad I_1^* = I_H - I_2^*.$$

По полученным уравнениям строим граф рис. 3. Для определения выходной проводимости рассмотрим граф рис. 3 от источника $U_{вых}^*$ до стока I_H^* . На этом участке граф содержит один сквозной путь, кроме

того, он имеет 5 контуров. Передача пути P_1^* и контуров $L_1^* - L_5^*$ выражается следующим образом:

$$P_1^* = \frac{1}{\rho C_2}; \quad L_1^* = -\frac{R_n}{\rho C_2};$$

$$L_2^* = \frac{r_{21к}^*}{\rho C_2}; \quad L_3^* = \frac{r_{22к}^*}{\rho C_1}; \quad L_4^* = \frac{r_{21к}^*}{\rho C_1}; \quad L_5^* = 1.$$

Так как сквозной путь не имеет ни одного несоприкасающегося контура, то определитель $D^* = 1 - L_1^* - L_2^* - L_3^* - L_4^* - L_5^* = 2 + \frac{1}{\rho C_2} \times \times (R_n - r_{21к}^*) - \frac{1}{\rho C_1} (r_{22к}^* + r_{21к}^*)$, а алгебраическое дополнение $D_1^* = 1$.

Определим выходную проводимость

$$Y_{\text{вых}}^* = -\frac{I_n^*}{U_{\text{вых}}^*} = -\frac{1}{\rho C_2 \left[2 + \frac{1}{\rho C_2} (R_n - r_{21к}^*) - \frac{1}{\rho C_1} (r_{22к}^* + r_{21к}^*) \right]}.$$

Снятие характеристик схемы производилось от 10 гц до 10 кз'. При выходной мощности 0,15 вт коэффициент полезного действия составлял около 75%, с увеличением выходной мощности его значение резко возрастает.